

中华医学会系列杂志

ISSN 1674-845X  
CN 11-5909/R

# 中华眼视光学 与视觉科学杂志<sup>®</sup> (中英文)

ZHONGHUA YANSHIGUANGXUE YU SHIJUEKEXUE ZAZHI

2025年6月 第27卷 第6期

## CHINESE JOURNAL OF OPTOMETRY OPHTHALMOLOGY AND VISUAL SCIENCE

Volume 27 Number 6  
June 2025



ISSN 1674-845X



9 771674 845259

06



CS 扫描全能王  
3亿人都在用的扫描App

# 中华眼视光学 与视觉科学杂志<sup>®</sup> (中英文)

CHINESE JOURNAL OF OPTOMETRY OPHTHALMOLOGY AND VISUAL SCIENCE

月刊 1999年2月创刊 第27卷 第6期 2025年6月25日出版



本刊微信: zhysgx

## 主管

中国科学技术协会

## 主办

中华医学会

100710, 北京市东四西大街42号

## 编辑

中华眼视光学与视觉科学杂志  
(中英文) 编辑委员会  
325035, 浙江省温州市茶山高教园区温州  
医科大学内  
电话(传真): 0577-86699366  
Email: zhysgx@vip.126.com  
http: //www.cjoovs.com  
http: //www.medjournals.cn

## 总编辑

瞿佳

## 编辑部主任

王勤美

## 出版

《中华医学杂志》社有限责任公司  
100710, 北京市东四西大街42号  
电话(传真): 010-51322059  
Email: office@cma.org.cn

## 印刷

浙江南方立邦印业有限公司

## 发行

国内: 中国邮政集团有限公司  
温州市分公司

国外: 中国出版对外贸易总公司

## 订购

全国各地邮政局

邮发代号: 32-108

## 邮购

中华眼视光学与视觉科学杂志  
(中英文)编辑部  
325035, 浙江省温州市茶山高教园区温州  
医科大学内  
电话(传真): 0577-86699366  
Email: zhysgx@vip.126.com

## 定价

每期25.00元, 全年300.00元

## 中国标准连续出版物号

ISSN 1674-845X

CN 11-5909/R

2025年版权归中华医学会所有

未经授权, 不得转载、摘编本刊  
文章, 不得使用本刊的版式设计  
除非特别声明, 本刊刊出的所有文  
章不代表中华医学会和本刊编委  
会的观点  
如有印装质量问题, 请直接与本刊  
编辑部联系

## 目次

### 中华医学会成立110周年专栏

百年医学会筑学术沃土 眼视光学杂志茁壮成长

季魏红 瞿佳 吕帆 ..... 401

### 讲座

双眼纵向连续型数据分析的混合效应模型

应用 ..... 403  
王时敏 王静怡 刘玉秀 周渝丰 熊航乐 倪咏天

### 论著

低龄圆锥角膜儿童行快速角膜胶原交联术后的

中期效果 ..... 410  
张金栋 荆丽丽 程钧 赵陈培 杜显丽

快速对比敏感度函数的双眼总和评估弱视

阈值水平双眼功能的效果 ..... 417  
陈惠 周佳玮 瞿佳

650 nm低强度单波长红光重复照射治疗

远视储备不足儿童的临床疗效 ..... 425  
张聪 张灵丽 颜月 李遥 周希媛

自动翻转拍对不同年龄段青少年儿童

视功能的影响及适应人群的观察 ..... 432  
王云云 许多 周仕萍 艾玲 陈维 冉玲玉 胡佳黎

不同戴镜状态近视患者行角膜屈光手术后

早期视功能的变化 ..... 441  
张静 许亚菲 侯杰 董亚慧 雷玉琳 杨星花

准分子激光微单眼视多焦双非球面消融模式

矫正近视伴老视的视觉质量评估 ..... 448  
李莉 王晓凡 唐懿帆 范华 毕宏生 季鹏

水平斜视患者手术前后Kappa角的变化

..... 458  
林惠玉 王鹭沙 王蓉



CS 扫描全能王

3亿人都在用的扫描App

**病例报告**

巩膜外垫压治疗Schwartz-Matsuo综合征合并视神经萎缩1例 ..... 464

王影 王文龙 王淑雅 王兴荣

右眼下睑恶性增生性外毛根鞘瘤1例 ..... 467

秦蕾蕾 张怡 刘夫玲

**综 述**

眼附属器淋巴瘤与IgG4-ROD的临床及影像学特征对比分析 ..... 470

罗倩 吴帅

视知觉学习的事件相关电位研究进展 ..... 475

孙华跃 王力涵 吴建峰

**读者·作者·编者**

《中华眼视光学与视觉科学杂志(中英文)》对来稿中图表的写作要求 ..... 424

《中华眼视光学与视觉科学杂志(中英文)》行业公知公认名词缩略语(上) ..... 457

《中华眼视光学与视觉科学杂志(中英文)》行业公知公认名词缩略语(下) ..... 466

《中华眼视光学与视觉科学杂志(中英文)》参考文献著录格式 ..... 480

**《中华眼视光学与视觉科学杂志(中英文)》稿约见本卷第1期第80页**

责任编辑 蒋素琼 谢浩煌 吴昔昔 吴飞盈 季魏红

刊后审读 郑俊海



引用本文: 张聪, 张灵丽, 颜月, 等. 650 nm低强度单波长红光重复照射治疗远视储备不足儿童的临床疗效[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志(中英文), 2025, 27(6): 425-431. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20241202-00415.

·论著·Original Article·

# 650 nm低强度单波长红光重复照射治疗远视储备不足儿童的临床疗效

张聪<sup>1</sup> 张灵丽<sup>2</sup> 颜月<sup>2</sup> 李遥<sup>1</sup> 周希媛<sup>1</sup>

作者单位:<sup>1</sup>重庆医科大学附属第二医院眼科, 重庆 400010; <sup>2</sup>重庆大学附属沙坪坝医院眼科, 重庆 400037

第一作者: 张聪, Email: 64251105@qq.com

通信作者: 周希媛, Email: zhouxiyuan2002@aliyun.com



开放科学标志码  
(OSID)

## 摘要

**目的:** 评价650 nm低强度单波长红光重复照射治疗远视储备不足儿童的有效性和安全性。**方法:** 前瞻性队列研究。连续纳入2022年1月至2023年6月期间重庆大学附属沙坪坝医院6~10岁双眼远视储备不足的近视前期儿童100例, 根据患者意愿分为红光干预组50例, 对照组50例。红光干预组每天2次低强度单波长红光重复照射, 对照组不予以任何干预, 2组均随访6个月。比较2组随访1、3、6个月时的SE、眼轴长度(AL)和黄斑中心凹脉络膜厚度(SFChT)的差异及2组SE改变量( $\Delta$ SE)、AL改变量( $\Delta$ AL)与SFChT改变量( $\Delta$ SFChT)的相关性, 并观察红光干预组6个月时眼底自发荧光情况。组间SE比较采用Mann-Whitney检验, 组内比较采用Friedman检验; 组间不同时间点AL、SFChT比较采用重复测量方差分析。变量间的相关性分析采用Pearson相关分析。**结果:** 最终纳入97例, 年龄( $8.0 \pm 1.2$ )岁, 男45例, 女52例。对照组48例(48眼), 红光干预组49例(49眼), 红光干预组SE在1、3、6个月时较对照组朝远视漂移( $Z = -5.50, -8.39, -8.53$ , 均 $P < 0.001$ ), AL在3、6个月时较对照度缩短( $F = 10.74, P = 0.001; F = 33.38, P < 0.001$ ), SFChT在1、3、6个月时较对照组增加( $F = 144.82, 240.35, 270.91$ , 均 $P < 0.001$ )。红光干预组1个月时 $\Delta$ SE与 $\Delta$ SFChT呈高度正相关( $r = 0.86, P < 0.001$ ),  $\Delta$ AL和 $\Delta$ SFChT呈高度负相关( $r = -0.96, P < 0.001$ ), 且红光干预组6个月时均未见黄斑区结构损害和视网膜异常荧光。**结论:** 650 nm低强度单波长红光重复照射6~10岁远视储备不足的儿童6个月能增加远视储备量, 缩短AL。AL的缩短早期与脉络膜增厚有关, 并未见视网膜结构改变。

**关键词:** 低强度红光; 重复照射; 远视储备; 不足; 儿童

**基金项目:** 重庆市科卫联合医学科研项目(2025MSXM169)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20241202-00415

## Clinical Efficacy of Repeated Low-Level Red-Light at 650 nm Therapy for Children with Insufficient Hyperopia Reserve

Cong Zhang<sup>1</sup>, Lingli Zhang<sup>2</sup>, Yue Yan<sup>2</sup>, Yao Li<sup>1</sup>, Xiyuan Zhou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, Affiliated Second Hospital, Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China

<sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Affiliated Shapingba Hospital, Chongqing University, Chongqing 400037, China

**Corresponding author:** Xiyuan Zhou, Email: zhouxiyuan2002@aliyun.com

## ABSTRACT

**Objective:** This study aimed to evaluate the effectiveness and safety of repeated low-level red-light at 650 nm therapy in children with insufficient hyperopia reserve. **Methods:** This was a prospective cohort study. A total of 100 children aged 6 to 10 years with bilateral insufficient hyperopic reserve (pre-myopia) were consecutively enrolled from January 2022 to June 2023 at the Department of Ophthalmology, Affiliated



Shapingba Hospital, Chongqing University. The patients were divided into an intervention group (50 cases) and a control group (50 cases) based on their preferences. The intervention group received low-level red-light at 650 nm therapy twice daily, while the control group received no such intervention, with both groups undergoing follow-up for 6 months. SE, axial length (AL), and subfoveal choroidal thickness of macula (SFChT) were compared between the two groups at 1, 3, and 6 months. The correlations of changes in SE ( $\Delta$  SE), AL ( $\Delta$  AL), and SFChT ( $\Delta$  SFChT) at these time points were analyzed for both groups. The fundus autofluorescence was assessed in the intervention group at 6 months. Comparisons between groups for SE were conducted using the Mann-Whitney test, within-group comparisons were analyzed with the Friedman test, and repeated measures ANOVA were employed for AL and SFChT. The correlation analysis between variables were conducted using Pearson correlation analysis. **Results:** A total of 97 subjects were enrolled, with a mean age of  $8.0 \pm 1.2$  years, including 45 males and 52 females. The control group comprised 48 cases (48 eyes), and the intervention group comprised 49 cases (49 eyes). Compared to the control group, the intervention group exhibited a hyperopic shift in SE at 1, 3, and 6 months ( $Z = -5.50, -8.39, -8.53$ , respectively, all  $P < 0.001$ ), shortened AL at 3 and 6 months ( $F = 10.74, P = 0.001; F = 33.38, P < 0.001$ ), and increased SFChT at all timepoints ( $F = 144.82, 240.35, 270.91$ , all  $P < 0.001$ ). In the intervention group, there was a strong positive correlation between  $\Delta$  SE and  $\Delta$  SFChT at 1 month ( $r = 0.86, P < 0.001$ ), whereas  $\Delta$  AL and  $\Delta$  SFChT exhibited a strong negative correlation ( $r = -0.96, P < 0.001$ ). At 6 months, no structural damage to the macular area or abnormal retinal fluorescence was observed in any of the participants. **Conclusion:** Repeated low-level red-light at 650 nm therapy appears to enhance hyperopia reserve and reduce AL in children aged 6–10 years with insufficient hyperopia reserve. In the early stages, the reduction in AL is associated with thickening of SFChT, and no retinal structural changes were observed.

**Key words:** low-level red-light; repetitive; hyperopia reserve; insufficient; children

**Funding:** Chongqing Joint Medical Research Project of Science and Health (2025MSXM169)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20241030-00375

近视为青少年最常见的屈光不正,我国青少年近视患病率位居世界前列,且朝着低龄化和高度化方向发展,高度近视引起的视力损伤给家庭和社会带来严重的负担<sup>[1-3]</sup>。预防近视发生和控制近视发展已成为亟需解决的公共卫生问题。当前关于近视的研究主要围绕于已发近视的控制问题,鲜有预防近视发生的相关研究。研究表明远视储备过早消耗是近视快速和过早发生的预测因素<sup>[4-5]</sup>,减少远视储备过早、过快消耗对于儿童青少年近视眼防控意义重大。基础研究认为巩膜缺氧是近视发生、发展的主要原因,而650 nm低强度单波长红光通过改善脉络膜血液灌注,改善视网膜微循环,改善巩膜缺氧、巩膜重塑,延缓眼轴长度(Axial length, AL)增长,从而控制近视发生、发展<sup>[6-8]</sup>。此外,红光还可通过促进多巴胺的释放,减少氧化应激促进细胞修复及影响昼夜节律等方面对近视起到治疗作用<sup>[9-11]</sup>。已有大量研究证实,重复低强度红光(Repetitive low-level red-light, RLRL)照射明显减缓近视儿童屈光度增加及控制AL增长<sup>[12-14]</sup>。但这些研究主要针对已经近视的儿童,对远视储备不足的儿童报道较少,最新的一篇关于对儿童近视前期

的防控与思考明确提到RLRL作为预防近视眼的一种潜在创新方法,其探索使用须在专业人员的指导下进行<sup>[15]</sup>。

本研究纳入6~10岁远视储备不足的近视前期儿童,采用650 nm低强度单波长红光重复照射进行干预治疗,分析RLRL治疗对儿童远视储备不足的SE、AL和黄斑中心凹脉络膜厚度(Subfoveal choroidal thickness of macula, SFChT)的影响及RLRL对SE、AL的影响是否与SFChT的变化有关,初步探索650 nm低强度单波长红光重复照射控制近视发展的机制,为预防儿童近视发展找寻新的安全有效的方法。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

连续收集2022年1月至2023年6月在重庆大学附属沙坪坝医院眼科就诊的6~10岁双眼远视储备不足的儿童100例,根据是否愿意接受红光治疗分为红光干预组和对照组,红光干预组采用650 nm低强度单波长红光重复照射,对照组单纯随访。本研



究遵循赫尔辛基宣言, 并获得重庆大学附属沙坪坝医院伦理委员会批准(批号: 202108), 且在中国临床试验注册中心注册, 注册号ChiCTR2100046295。所有受检者自愿参加并由监护人签署知情同意书。

**纳入标准:** ①6~10岁儿童; ②双眼远视储备不足, 睫状肌麻痹后客观验光为 $+0.00\text{ D} \leq \text{SE} \leq +0.50\text{ D}^{[6]}$ ; ③双眼眼压正常, 无斜视、弱视或者其他器质性眼病。**排除标准:** ①有光过敏史、中重度干眼、角膜疾病、白内障、玻璃体视网膜疾病、感染性眼部疾病、葡萄膜炎、视神经受损、先天性视神经发育异常或其他眼部疾病者; ②自身免疫性疾病(如红斑狼疮、皮炎、干燥综合征等)和全身性疾病(高血压、白化病等); ③既往有惊厥病史、抽动症、中枢神经系统发育不完善以及精神心理疾病; ④根据研究者判断无法理解或配合此研究程序者, 不能配合眼科检查以及不能完成随访者。

**中止及退出试验:** ①受检者出现非预期性严重不良反应即照射治疗过程中如出现后像时间异常、短期视力严重下降、持续眼前光晕、暗点、任何视网膜结构损伤或视野、对比敏感度或色觉改变等情况; ②研究不足3个月, 受检者主动要求退出研究或受检者连续失访2次及以上者, 其资料不纳入数据分析。排除及中止试验标准参考《重复低强度红光照射辅助治疗儿童青少年近视专家共识(2022)》<sup>[17]</sup>。

## 1.2 方法

**1.2.1 样本量估算** 假设 $\alpha$ 为0.05, 检验效能为80%和预期效应量基础上进行, 处理效果为50%, 6个月SE改变量约0.13 D(标准差为0.10 D), 所需样本量为每组39例, 总样本量为78例。

**1.2.2 检查方法** 使用裂隙灯显微镜(PS-11E, 日本Topcon公司)检查眼前节, 排除有无中重度干眼、角膜病、白内障等疾病; 使用眼底镜检查眼底, 排除有无玻璃体视网膜疾病; 使用CLARUS500真彩照相(德国Carl Zeiss公司)检查视网膜自发荧光。非接触全自动电脑眼压计测量眼压, 角膜映光联合遮盖方法判断有无斜视, 睫状肌麻痹验光判断有无弱视。

**1.2.3 试验过程** 红光干预组使用650 nm低强度单波长红光近视弱视治疗仪(艾尔兴, 中国苏州宣嘉光电科技有限公司), 各项参数如下: 波长为 $(650 \pm 10)\text{ nm}$ , 光标直径为 $(10 \pm 3)\text{ mm}$ , 输出功率为 $(2.0 \pm 0.5)\text{ mW}$ , 光照度为730 lx。经国家光电产品辐射安全质量监督检验中心认证, 辐射类别属于

I类辐射, 可以在眼部安全使用, 产品获得二类医疗器械注册证, 生产厂家具有医疗器械生产许可证。治疗开始前, 由技术人员对红光干预组进行仪器使用演示, 并确保每位受检者正确使用, 受检者每日登录账号密码进行使用, 每次登录的日期和时间的数据被自动记录在设备中, 并转移到在线数据库, 以监测治疗依从性, 依从性低于90%时及时告知受检者及其监护人, 低于80%不纳入数据统计, 使用时头部放置于仪器托架上, 双眼接受红光治疗。红光干预组每天在家进行治疗, 每次3 min, 2次间隔大于4 h, 连续治疗6个月; 对照组不做任何处理, 只进行随访。

**1.2.4 数据测量** 使用IOLMaser 700型(德国Carl Zeiss公司)在睫状肌麻痹前测量双眼AL, 至少5次, 误差不超0.05 mm, 使用平均值进行数据分析。使用扫频光学相干断层扫描仪(DRI OCT Triton, 日本Topcon公司)的自动脉络膜厚度地形图测量功能测量SFChT, 黄斑中央凹为黄斑最薄处, 脉络膜厚度定义为视网膜色素上皮基底膜层到脉络膜巩膜界面的内层, 为避免昼夜节律对脉络膜厚度的影响, 1、3、6个月随访复查时, 同一患者在散瞳前测量并与基线检查时间相同, 研究以黄斑中心凹1 mm范围的平均脉络膜厚度纳入统计分析, 该数据由内置软件自动导出。使用1.0%盐酸环喷托酯滴眼液进行睫状肌麻痹验光, 先用表面麻醉剂点眼1次, 2~3 min后再用1.0%环喷托酯滴点眼, 每5 min 1次共3次, 30 min后检查瞳孔光反射和瞳孔直径, 瞳孔直径大于6 mm和(或)对光反射消失视为睫状肌麻痹成功, 发现睫状肌麻痹不成功时再次滴用1.0%环喷托酯滴直到睫状肌麻痹成功。睫状肌麻痹成功后使用KR-1/RM-1型全自动电脑验光仪(日本株式会社拓普康)测量球镜度数、柱镜度数及轴位并计算SE,  $\text{SE} = \text{球镜度} + 1/2 \text{柱镜度}$ , 连续测量3次, 取SE平均值进行分析。所有检查均由同一检查者完成, 先右眼、后左眼, 测量入组后1、3、6个月时2组患者的SE、AL、SFChT, 分别计算随访1、3、6个月时SE、AL、SFChT与基线的差值( $\Delta\text{SE}$ 、 $\Delta\text{AL}$ 和 $\Delta\text{SFChT}$ )。

**1.2.5 随访检查** 随访时询问有无中心暗点、颜色变化及明暗亮度变化症状, 进行视力、裂隙灯显微镜、直接眼底镜检查, 红光干预组6个月时检查眼底自发荧光。若受检者出现上述症状时, 完善全自动静态电脑视野计、红绿色盲图、对比敏感度检查仪及黄斑区OCT等检查并记录; 受检者出现眼红、



眼痛、畏光、流泪、视力下降、视野缺损等症状时,立即中止试验并及时治疗。

### 1.3 统计学方法

前瞻性队列研究。使用SPSS 25.0统计软件对数据进行统计分析。取左眼数据进行分析。所有数据进行Shapiro-Wilk正态性检验,符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示,AL、SFChT符合正态分布,不同时间点组间比较采用重复测量方差分析;年龄符合正态分布,组间比较采用独立样本 $t$ 检验;SE数据不符合正态分布,以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用Mann-Whitney检验,组内比较采用Friedman检验;组间性别比较采用卡方检验;变量间的相关性分析采用Pearson相关分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料

红光干预组在1个月时因时间问题而主动中止试验1例(2%),对照组在3个月时因随访过程中出现近视发展需进行配镜矫正和红光干预治疗而主动中止2例(4%)。最终完成6个月随访的红光干预组49例(49眼),其中男22例,女27例;对照组48例(48眼),其中男23例,女25例。2组性别比例比较差异无统计学意义( $\chi^2=0.09, P=0.766$ ),2组受检者基线年龄、SE、AL和SFChT差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$ ),具有可比性。见表1。

### 2.2 2组SE、AL、SFChT在基线和各随访时间的比较

2组间的SE在随访1、3、6个月时差异比较采用Mann-Whitney检验,结果显示不同时间点组间差异均有统计学意义( $Z=-5.50、-8.39、-8.53$ ,均

$P < 0.001$ )。不同时间点2组组内比较采用Friedman检验,结果显示红光干预组对照组不同时间点组内SE差异均有统计学意义( $F=139.11, P < 0.001; F=130.50, P < 0.001$ )。与基线相比,红光干预组在1、3、6个月时SE值向远视漂移,而对照组向近视漂移,对照组在随访3个月时SE值降低至0,到6个月时出现负值。

2组间各随访时间点的AL比较差异均有统计学意义( $F_{组别}=5.96, P=0.017; F_{时间}=96.56, P=0.001; F_{交互}=1\ 332.35, P=0.001$ )。2组组间在基线及随访1个月AL差异无统计学意义( $P=0.702、0.300$ ),随访3、6个月红光干预组AL均较对照组缩短,差异有统计学意义( $F=10.74, P=0.001; F=33.38, P < 0.001$ )。红光干预组各时点间比较差异均有统计学意义( $F=1\ 313.15, P=0.001$ ),随着治疗时间延长,AL逐渐减少;对照组各时点间比较差异有统计学意义( $F=421.36, P=0.001$ ),随时间延长,对照组AL逐渐增加。

2组间各随访时间点的SFChT比较差异有统计学意义( $F_{组别}=138.31, P=0.001; F_{时间}=886.60, P=0.001; F_{交互}=908.93, P=0.001$ )。2组组间比较,基线时红光干预组和对照组SFChT差异无统计学意义( $P=0.230$ ),红光治疗后1、3、6个月红光干预组SFChT较对照组增厚,2组间差异均有统计学意义( $F=144.82、240.35、270.91$ ,均 $P < 0.001$ )。2组组内比较时,对照组各时点差异无统计学意义( $F=1.32, P=0.272$ ),红光干预组各时间差异有统计学意义( $F=2\ 144.20, P=0.001$ ),红光干预组红光治疗1、3、6个月SFChT值逐渐增加。见表2。

### 2.3 2组不同时间 $\Delta$ SE与 $\Delta$ SFChT相关性分析

红光干预组1个月时SE的变化量为( $0.18 \pm 0.06$ )D,平均向远视漂移0.18 D,脉络膜改变量为( $44.84 \pm 1.75$ ) $\mu$ m,平均增厚约45  $\mu$ m, $\Delta$ SE与

表1. 2组近视前期儿童基线资料比较

Table 1. Comparison of baseline data between the two pre-myopia children groups

Groups	n	Gender (Male/Female)	Age, year	AL, mm	SFChT, $\mu$ m
Control	48	23/25	7.9 $\pm$ 1.2	22.91 $\pm$ 0.25	224 $\pm$ 18
Intervention	49	22/27	8.0 $\pm$ 1.3	22.93 $\pm$ 0.30	229 $\pm$ 16
$\chi^2/t$		0.09	0.41	0.15	1.46
P		0.766	0.682	0.702	0.230

n, number of cases. Data were expressed as means $\pm$ standard deviations. AL, axial length; SFChT, subfoveal choroidal thickness of macula.



$\Delta$  SFChT呈高度正相关( $r=0.86, P<0.001$ ); 3个月时SE变化量为( $0.42 \pm 0.13$ )D, 脉络膜改变量为( $54.12 \pm 1.16$ ) $\mu\text{m}$ , 两者无明显相关性( $r=0.08, P=0.599$ ); 6个月时SE变化量为( $0.54 \pm 0.11$ )D, 脉络膜改变量为( $58.27 \pm 1.00$ ) $\mu\text{m}$ , 两者无明显相关性( $r=0.21, P=0.158$ )。对照组1个月时SE的变化量为( $-0.07 \pm 0.07$ )D, 平均向近视漂移0.07 D, 脉络膜改变量为( $-0.73 \pm 2.09$ ) $\mu\text{m}$ , 平均下降0.73  $\mu\text{m}$ ,  $\Delta$ SE与 $\Delta$  SFChT呈现正相关( $r=0.42, P=0.003$ ); 对照组3个月和6个月SE变化与脉络膜厚度变化间无明显相关性( $r=-0.00, P=0.996; r=-0.02; P=0.899$ )。

2.4 2组不同时间 $\Delta$  AL与 $\Delta$  SFChT相关性分析

红光干预组1个月时AL的变化量为( $-0.05 \pm 0.002$ )mm, 平均改变量约-50  $\mu\text{m}$ , 脉络膜改变量为( $44.84 \pm 1.75$ ) $\mu\text{m}$ , 平均增厚约45  $\mu\text{m}$ ,  $\Delta$  AL与 $\Delta$  SFChT呈现高度负相关( $r=-0.96, P<0.001$ ); 3个月时AL变化量为( $-0.14 \pm 0.004$ )mm, 脉络膜改变量为( $54.12 \pm 1.16$ ) $\mu\text{m}$ , 两者无明显相关性( $r=-0.09, P=0.521$ ); 6个月时AL变化量为( $-0.22 \pm 0.005$ )mm, 脉络膜改变量为( $58.27 \pm 1.00$ ) $\mu\text{m}$ , 两者无相关性( $r=-0.31, P=0.030$ )。

2.5 不良反应

红光干预组所有受检者在随访的6个月内未出现眼红、眼痛、畏光、流泪、非预期的视力下降、视野缺损等不良反应, OCT未发现视网膜结构损害, 自发荧光检查未见异常荧光。

3 讨论

近视前期是近视发展过程中重要的过度阶段, 阻止近视前期向近视转变是近视防控的关键<sup>[18]</sup>。近视发病机制中研究最多的是旁中心远视性离焦, 针对远视离焦, 临床常采用角膜塑形镜来控制近视发展, 但大部分多中心研究发现角膜塑形镜延缓近视发展也仅能达到30%~59%<sup>[19]</sup>。何明光等<sup>[20]</sup>发现每天户外活动2 h是近视发展的重要保护性因素。周翔天等<sup>[21]</sup>研究发现巩膜慢性缺氧是近视发生发展的重要原因及干预靶点, 正常的眼部生长和屈光发育可能会受到环境光光谱成分的影响<sup>[22]</sup>。这些研究均提示光介导的视网膜脉络膜通道在近视发生发展过程中起着重要的作用。眼科领域, 红光早已作为弱视辅助治疗的重要手段安全应用多年。近年来, 基础研究发现低强度红光治疗能改善巩膜重塑, 延缓AL延长, 达到预防近视发生、减缓近视进展的作用<sup>[23]</sup>。临床研究也证实低强度红

表2. 2组近视前期儿童SE、AL、SFChT在基线和各随访时间的比较

Table 2. Comparison of SE, AL, SFChT between baseline and each follow-up time point for two pre-myopia children groups

Items	n	Baseline	1 month	3 months	6 months
SE, D					
Control	48	0.25 (0.37, 0.12)	0.19 (0.25, 0.12)	0.00 (0.13, 0.00)	-0.13 (-0.25, 0.00)
Intervention	49	0.25 (0.37, 0.12)	0.37 (0.50, 0.31)	0.62 (0.75, 0.56)	0.75 (0.87, 0.62)
AL, mm					
Control	48	22.91 $\pm$ 0.25	22.94 $\pm$ 0.25	22.97 $\pm$ 0.25	23.04 $\pm$ 0.32
Intervention	49	22.93 $\pm$ 0.30	22.88 $\pm$ 0.31	22.79 $\pm$ 0.30	22.71 $\pm$ 0.31
SFChT, $\mu\text{m}$					
Control	48	224 $\pm$ 18	224 $\pm$ 18	223 $\pm$ 18	225 $\pm$ 18
Intervention	49	229 $\pm$ 16	273 $\pm$ 22	283 $\pm$ 20	287 $\pm$ 19

n, number of eyes. Data were expressed as means $\pm$ standard deviations or  $M(Q_1, Q_3)$ . SE: the difference between control and intervention groups at 1, 3, 6 months visit were significant ( $Z=-5.50, -8.39, -8.53, P<0.001$ ), the difference between times were significant ( $F=139.11, 130.50, P<0.001$ ). AL: the difference between groups and times were significant ( $F_{\text{group}}=138.31, P=0.001; F_{\text{time}}=886.60, P=0.001; F_{\text{intercross}}=908.93, P=0.001$ ). SFChT: the difference between groups and times were significant ( $F_{\text{group}}=5.96, P=0.017; F_{\text{time}}=96.56, P=0.001; F_{\text{intercross}}=1332.35, P=0.001$ ). AL, axial length; SFChT, subfoveal choroidal thickness of macula; D, diopter.



光照射可有效控制近视发展且较角膜塑形镜、低浓度阿托品有更好的效果且长期照射未见累积毒副作用<sup>[8, 24-25]</sup>。

低强度单波长红光重复照射研究主要针对已近视儿童,对尚未近视的干预研究鲜有报道,何鲜桂等<sup>[26]</sup>的1项随机对照试验(Randomized controlled trial, RCT)纳入了SE为 $-0.5\sim+0.5$  D的儿童,给予红光干预,比较6个月、12个月时红光组与对照组的SE、AL改变及2组近视发病率变化,结果显示在6个月时红光组SE平均向远视漂移0.18 D,对照组SE平均向近视漂移0.14 D,红光组与对照组SE平均变化差异为 $-0.32$  D,6个月时红光组AL平均增加0.07 mm,对照组平均增加0.23 mm,红光组与对照组AL平均变化差异为0.16 mm,表明红光对于近视前期的SE、AL及近视发生率均产生了积极影响,该研究未对SFChT进行评估,也未分析SE、AL的变化与SFChT的变化的相关性。本研究中6个月时红光组SE平均向远视漂移0.53 D,对照组SE平均向近视漂移0.37 D,与上述研究结果变化趋势较为一致,但变化幅度更大。本研究显示6个月时红光组AL平均缩短0.22 mm,对照组AL平均增加0.13 mm,与上述研究结果有一定差异,上述研究显示2组AL均增加,只是红光组增加较少,但本研究显示红光组AL出现缩短,推测与本研究对象全部为远视储备不足,在近视发展的更早时间接受红光治疗有关。

本研究显示,2组患者SE在随访1、3、6个月时差异均有统计学意义;2组患者AL在1个月时差异无统计学意义,到3个月时差异有统计学意义,但是从AL的变化趋势看,红光干预组AL在1个月时已经出现缩短,而对照组AL在1个月时已经出现增加,提示在评价AL时,不仅要关注绝对数值,更要关注变化趋势。

另外,本研究表明,与基线相比,干预组1个月时SFChT明显增加,3个月时增加量达到峰值,6个月时增加量趋于稳定,说明使用红光后黄斑中心凹脉络膜不可能无限制增厚,一般1个月时出现明显变化,3个月达到高峰,6个月趋于稳定。与基线相比,对照组SFChT未见明显变化,但是对照组AL增加,SE下降,提示近视发生发展的早期,AL、SE的变化早于SFChT的变化。红光干预组1个月时SFChT平均增厚 $45\ \mu\text{m}$ ,SE向远视方向漂移0.18 D,AL平均减少 $50\ \mu\text{m}$ , $\Delta\text{SE}$ 与 $\Delta\text{SFChT}$ 间存在高度正相关, $\Delta\text{AL}$ 与 $\Delta\text{SFChT}$ 间存在高度负相

关,提示1个月时干预组SE向远视方向漂移,AL减少主要是由于SFChT增加所致,黄斑中心凹脉络膜增厚引起视网膜界面前移,通过光学生物测量的AL出现缩短。干预组3个月、6个月时AL减少与SFChT增加相关性不明显,提示AL减少除SFChT增加外,可能还存在其他因素。

本研究还表明,对照组1个月时SFChT平均变薄 $0.73\ \mu\text{m}$ ,SE向近视方向漂移0.07 D,AL平均增加 $30\ \mu\text{m}$ , $\Delta\text{SE}$ 与 $\Delta\text{SFChT}$ 存在正相关, $\Delta\text{AL}$ 与 $\Delta\text{SFChT}$ 间存在负相关,3个月时对照组SFChT平均变薄 $0.98\ \mu\text{m}$ ,SE向近视方向漂移0.20 D,AL平均增加 $60\ \mu\text{m}$ ,6个月时SFChT平均增加 $0.27\ \mu\text{m}$ ,SE向近视方向漂移0.37 D,AL平均增加 $130\ \mu\text{m}$ ,虽然 $\Delta\text{SE}$ 与 $\Delta\text{SFChT}$ 、 $\Delta\text{AL}$ 与 $\Delta\text{SFChT}$ 差异无统计学意义,但总体趋势是近视增加,脉络膜厚度变薄。提示儿童近视发展与脉络膜厚度有关,但到底是脉络膜变薄导致近视发展还是近视发展眼轴延长后出现脉络膜厚度的继发性改变还需要进一步的基础和临床研究来证实。

研究周期内干预组所有受检者未出现非预期严重不良反应,表明短期内650 nm低强度单波长红光重复照射治疗安全性较好。但红光干预组有1例儿童因没有时间照射红光而中止试验,对照组有2例儿童因在随访过程中近视进展而主动要求进行红光治疗,提示预防儿童近视需要个性化的治疗方案。

但是本研究尚存在以下不足:①本研究样本量较小,研究对象为远视储备不足,所有受检者具有良好的远视力,对他们进行干预,家长接受程度存在限制,且远视储备不足本身的持续时间较短,较长的随访比较困难;②本研究为单中心研究,只纳入了单一医疗机构的数据,将来可联合更多医疗机构同时开展研究;③本研究未调查研究对象近视家族史、用眼行为习惯及近距离用眼时长等近视发生发展相关因素,是否存在这些混杂因素的影响需进一步研究。

综上所述,低强度单波长650 nm红光重复照射治疗远视储备不足的儿童,在短期内可一定程度增加远视储备及SFChT,缩短AL,AL的缩短早期主要与SFChT增厚有关,研究期间未见不良反应,作为控制儿童近视的新方法,其长期治疗的有效性和安全性需进一步开展多中心、大样本的临床研究来证实。

利益冲突声明 本研究无任何利益冲突



**作者贡献声明** 张聪: 选题, 设计实验方案, 收集数据, 负责资料的分析和解释; 撰写论文; 根据编辑部的修改意见进行修改。张灵丽: 参与选题、设计和修改论文的结果、结论, 根据编辑部的修改意见进行修改。颜月、李遥: 参与选题、设计和修改论文的结果、结论。周希琰: 指导选题、设计、资料的分析和解释, 修改论文中关键性结果、结论, 根据编辑部的修改意见进行核修

## 参考文献

- [1] Xiang ZY, Zou HD. Recent epidemiology study data of myopia[J]. *J Ophthalmol*, 2020, 2020: 4395278. DOI: 10.1155/2020/4395278.
- [2] Pan CW, Dirani M, Cheng CY, et al. The age-specific prevalence of myopia in Asia: a meta-analysis[J]. *Optom Vis Sci*, 2015, 92(3): 258-266. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000516.
- [3] Haarman A, Enthoven CA, Tideman J, et al. The complications of myopia: a review and meta-analysis[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(4): 1-19. DOI: 10.1167/IOVS.61.4.49.
- [4] Ma Y, Zou H, Lin S, et al. Cohort study with 4-year follow-up of myopia and refractive parameters in primary schoolchildren in Baoshan District, Shanghai[J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2018, 46(8): 861-872. DOI: 10.1111/ceo.13195.
- [5] 赵梦雅, 朱懿, 许韶君, 等. 儿童远视储备各影响因素研究进展[J]. *中华流行病学杂志*, 2022, 43(10): 1671-1676. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220420-00324.
- [6] Xiong R, Zhu Z, Jiang Y, et al. Longitudinal changes and predictive value of choroidal thickness for myopia control after repeated low-level red-light therapy[J]. *Ophthalmology*, 2022, 130(3): 286-296. DOI: org/10.1016/j.ophtha.2022.10.002.
- [7] Wang W, Jiang Y, Zhu Z, et al. Clinically significant axial shortening in myopic children after repeated low-level red light therapy: a Retrospective Multicenter Analysis[J]. *Ophthalmol Ther*, 2023, 12(2): 999-1011. DOI: org/10.1007/s40123-022-00644-2.
- [8] Jiang Z, Chen S, Wang R, et al. Safety of and chorioretinal circulation during repeated low-level red-light therapy for myopic children[J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2024, 52(3): 321 - 330. DOI: 10.1111/ceo.14462.
- [9] Wang M, Schaeffel F, Jiang B, et al. Effects of light of different spectral composition on refractive development and retinal dopamine in chicks[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018, 59(11): 4413-4424. DOI: 10.1167/iov.18-23880.
- [10] 许文隽, 康梦田, 王宁利. 可见红光照射治疗近视的临床有效性、作用机制及安全性研究进展[J]. *中华实验眼科杂志*, 2023, 41(4): 398-404. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20211206-00674.
- [11] Zhu Q, Cao X, Zhang Y, et al. Repeated low-level red-light therapy for controlling onset and progression of myopia-a review[J]. *Int J Med Sci*, 2023, 20(10): 1363-1376. DOI: 10.7150/ijms.85746.
- [12] Tang J, Liao Y, Yan N, et al. Efficacy of repeated low-level red-light therapy for slowing the progression of childhood myopia: a systematic review and meta-analysis[J]. *Am J Ophthalmol*, 2023, 252: 153-163. DOI: 10.1016/j.ajo.2023.03.036.
- [13] Wang F, Peng W, Jiang Z. Repeated low-level red light therapy for the control of myopia in children: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Eye Contact Lens*, 2023, 49(10): 438-446. DOI: 10.1097/ICL.0000000000001020.
- [14] Cao K, Tian L, Ma DL, et al. Daily low-level red light for spherical equivalent error and axial length in children with myopia: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2024, 142(6): 560-567. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2024.0801
- [15] 何鲜桂. 对儿童近视眼前期防控的认识与思考[J]. *中华眼科杂志*, 2024, 60(4): 316-321. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20240130-00056
- [16] 中华预防医学会公共卫生眼科分会. 中国学龄儿童眼球远视储备、眼轴长度、角膜曲率参考区间及相关遗传因素专家共识(2022年)[J]. *中华眼科杂志*, 2022, 58(2): 96-102. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20210603-00267.
- [17] 《重复低强度红光照射辅助治疗儿童青少年近视专家共识(2022)》专家组. 重复低强度红光照射辅助治疗儿童青少年近视专家共识(2022)[J]. *中华实验眼科杂志*, 2022, 40(7): 599-603. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20220616-00279.
- [18] Wolffsohn JS, Flitcroft DI, Gifford KL, et al. IMI-myopia control reports overview and introduction[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 60(3): M1-M19. DOI: 10.1167/iov.18-25980.
- [19] Vanderveen DK, Kraker RT, Pineles SL, et al. Orthokeratology for the prevention of myopic progression in children: a report by the american academy of ophthalmology[J]. *Ophthalmology*, 2019, 126(4): 623-636. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.11.026.
- [20] He M, Xiang F, Zeng Y, et al. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2015, 314(11): 1142-1148. DOI: 10.1001/jama.2015.10803.
- [21] Wu H, Chen W, Zhao F, et al. Scleral hypoxia is a target for myopia control[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, 115(30): E7091-E7100. DOI: 10.1073/pnas.1721443115.
- [22] Zhang P, Zhu H. Light signaling and myopia development: a review[J]. *Ophthalmol Ther*, 2022, 11(3): 939-957. DOI: 10.1007/s40123-022-00490-2.
- [23] Gawne TJ, Ward AH, Norton TT. Long-wavelength (red) light produces hyperopia in juvenile and adolescent tree shrews[J]. *Vision Res*, 2017, 140(11): 55-65. DOI: 10.1016/j.visres.2017.07.011.
- [24] Xiong F, Mao T, Liao H, et al. Orthokeratology and low-intensity laser therapy for slowing the progression of myopia in children[J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021: 8915867. DOI: 10.1155/2021/8915867.
- [25] Chen Y, Xiong R, Chen X, et al. Efficacy comparison of repeated low-level red light and low-dose atropine for myopia control: a randomized controlled trial[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2022, 11(10):33. DOI: 10.1167/tvst.11.10.33.
- [26] He X, Wang J, Zhu Z, et al. Effect of repeated low-level red light on myopia prevention among children in China with premyopia: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6(4): e239612. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.9612.

(收稿日期: 2024-12-02)

(本文编辑: 吴昔昔)

